



TITLE:

クロード・シャノンの迷路探索機： ベル研究所における評価の変遷

AUTHOR(S):

杉本, 舞

CITATION:

杉本, 舞. クロード・シャノンの迷路探索機：ベル研究所における評価
の変遷. 科学哲学科学史研究 2010, 4: 1-19

ISSUE DATE:

2010-02-28

URL:

<https://doi.org/10.14989/108697>

RIGHT:

クロード・シャノンの迷路探索機 ベル研究所における評価の変遷

杉本 舞*

Claude Shannon's Maze Solving Machine:
Transition of its interpretation in Bell Labs

Mai SUGIMOTO

abstract

In the early 1950s Claude Shannon made two “Maze Solving Machines” from relays and switches at Bell Labs. They were able to automatically solve mazes of 5 x 5 squares by trial-and-error strategy and to remember the solution. One of them, named “Theseus”, became quite famous through stories in magazines such as *Life* and *Time* for its running wooden mouse on the maze. These machines were originally regarded as experiments for telephone switching equipment, especially for memory units of the switching system. But this interpretation gradually changed and the experiments came to be seen as suggesting a relationship between switching systems and logic. This change reflected the status of switching theory and digital computers among the researchers at Bell Labs. Specifically, a shift in Bell Lab's policy that only works that were related to telephony and communication technology were basically allowed in the laboratories occurred, most noticeably in the 1950s and 1960s, due to an antitrust lawsuit which started in 1949.

§1 序

情報理論の創始者であるクロード・シャノン (Claude Shannon) は、電気工作を趣味としていたことで知られており¹、人間と自動で対戦することのできるボードゲーム機 “Hex” や、ローマ数字計算機 “THROBAC” をはじめとした手作りの機械を、勤務していたベル研究所内や自宅で多数製作した。中でも最も有名なものが、1950 年代に研究所内で作った迷路探索機 (Maze Solving Machine) である。

* 京都大学大学院文学研究科現代文化学専攻科学哲学科学史専修博士後期課程
nix.pura@gmail.com

¹ Shannon 1956, Shannon 1993, p. xxi.

この迷路探索機は、26 インチの台の上に縦 5 マス、横 5 マスの区画と可変の仕切りが配置された迷路の中を、木製の「ネズミ」が走るというもので、トライアルアンドエラー方式で迷路を解き、また一旦解けば次はまっすぐにゴールにたどりつくという特徴を持っていた。小さな車輪のついた木製の「ネズミ」の動きを制御する回路は非常に複雑なもので、その回路は「ネズミ」そのものではなく、迷路下部の金属製の台の中にすべて収められていた。この迷路探索機には“*Theseus*”²という名がつけられ、雑誌 *Life*³や *Time*⁴に取り上げられたことで一気に知名度を得た。迷路の中に木製のネズミを置こうとしている写真は、数少ないシャノンの写真のなかでも最も有名なものであり、*Claude Shannon Collected Papers* 初版カバーにも採用されている(図 1)。

またこの迷路探索機は、1970 年代に始まった迷路探索ロボットマウス競技、マイクロマウスの原型であるとも言われ、1979 年に IEEE の主催したマイクロマウスのコンテストでは記念のデモンストレーションも行われた。1940 年代から 1950 年代にかけて、論理や言語を扱ったり簡単なボードゲームで対戦したりといった計算機の能力と、計算機の「知能」を比較的楽観的に結びつける研究者が多かったこと、またシャノンが「人工知能」(*Artificial Intelligence*)という名称がはじめて使用されたダートマス会議の発起人の一人だったこと、さらに彼が「ゲームをする機械」「チェス・プログラム」を題材にいくつもの論文を発表したことなどもあり⁵、迷路探索機“*Theseus*”は、まさに人工知能の黎明期を担った研究者シャノンを象徴するアイコンとみなされてきた。

ところがシャノンがこの迷路探索機を開発した当時のベル研究所の資料を見ると、迷路探索機は、人工知能ではなくあくまで電話交換技術に関連づけて評価されている。ベル研究所は研究者に対し極めて柔軟な研究計画を認める一方で、基本的には電話や通信に関連する研究に資金を与えるという方針を取っていた。そのため、シャノンの同僚ジョン・ピアース(*John Pierce*)⁶やシャノン自身も言及していることだが⁷、シャノンははじめとした相当数の研究者やエンジニアが迷路探索やゲームを自動で行う機械などを製作していたにも関わらず、それは公式にはゲームや迷路探索自体を目的と

² “*Theseus*”(テーセウス)とは、ギリシャ神話に登場する英雄の一人。クレタ島のミノス王の子で牛頭の怪物であるミノタウルの住む迷宮に侵入してミノタウルスを倒し、ミノス王の娘であるアリアドネにもらった糸玉を使って迷宮を無事脱出することができたと伝えられる。

³ *Life* 1952.

⁴ *Time* 1952.

⁵ Shannon 1953, Shannon 1955 など。

⁶ Pierce 1979.

⁷ Shannon 1949a.

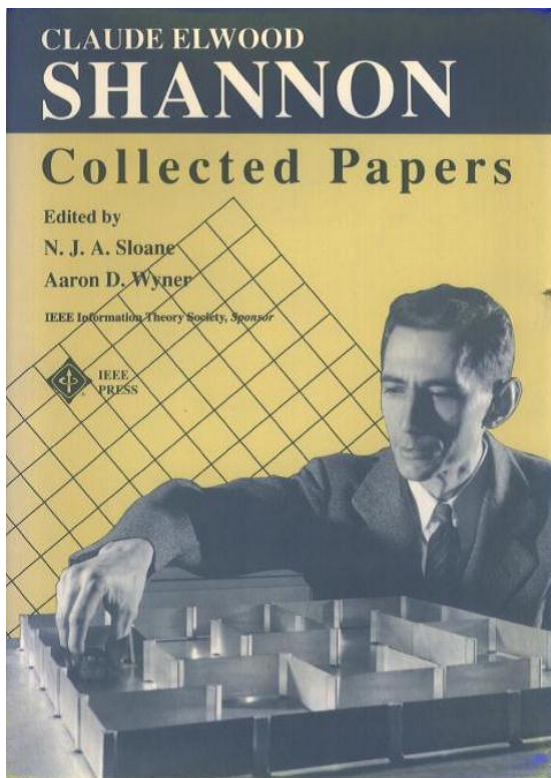


図 1 *Claude Shannon Collected Papers* 初版カバー

したものではなかったのである。

本稿ではシャノンの製作した迷路探索機についてその構造と特徴を紹介するとともに、ベル研究所の所内雑誌 *195 Bulletin*、1951 年にベル研究所内に設置されたデジタル計算機特別委員会の会議録、1975 年にベル研究所から発行された研究所の業績と歴史を紹介する書籍 *Mission Communications* に見られる迷路探索機関係の記述を取り上げ、シャノンの迷路探索機に対してベル研究所内部でなされた評価や解釈がどのように変わっていったかについて検討する。

§2 2 台の迷路探索機

当時の雑誌や公刊されている資料にははっきりと書かれていないが、シャノンは1950年前後に迷路探索機を二つ製作した⁸。一つは、*Life* に掲載された縦5マス、横5マスの迷路の中を小さな「ネズミ」が動くものであり、もう一つはそれより前に製作された、金属製の「フィンガー」が迷路の中を動いて探索の経路を指し示すというものである。ネズミ型の迷路探索機の知名度が圧倒的に高いにもかかわらず、迷路探索機に関するシャノン自身の論文で公刊されているものには、フィンガー型の探索機を扱ったものしか残されておらず、*Claude Shannon Collected Papers* 所収の“Presentation of a Maze-Solving Machine”(1952)のみ⁹である。米国議会図書館のシャノン文書には、おそらく1950年前後にベル研究所に提出されたものだと考えられるタイプスクリプト“*Theseus—A Maze-Solving Machine*”¹⁰が保存されているが、これもフィンガー型の探索機を扱ったものであり、迷路探索機についてのまとまった論文は、この2本の論文のみと考えてよい。有名なネズミ型の探索機については、雑誌記事や80年代の文通資料、現在MIT博物館に所蔵されている実物からその概要を知ることができる¹¹。ここではまず、この二本の論文、とくにタイプスクリプト“*Theseus—A Maze-Solving Machine*”をもとに、フィンガー型の迷路探索機の詳細を整理する。

2.1 フィンガー型の迷路探索機

シャノンの迷路探索機は、トライアルアンドエラー方式で問題を解決し、その解を記憶する、すなわち経験から学ぶという性質を示す回路を作るという目的で製作された。いったん迷路を解けばその経路を記憶し、ゴールするまでに通ったどの点に置き直しても、今度はまっすぐゴールにたどり着くことができた。図2はフィンガー型の迷路探索機である。

⁸ Shannon 1982.

⁹ Shannon [1952]1993, pp. 681–687. これはもともと、ウィーナーやピッツ、マカロック、フォン・フォレスターら、サイバネティクスに関心のある学者が1945年から断続的に集まって開催していた「生物学と社会科学におけるフィードバック機構と循環因果律システムに関する会議 (The Feedback Mechanisms and Circular Causal Systems in Biology and the Social Sciences Meeting)」, 通称「メイシー会議」の第8回会合で行われたシャノンのプレゼンテーションと質疑応答を大まかに記録したものである。

¹⁰ Shannon n.d.

¹¹ フィンガー型の迷路探索機の所在は不明である。

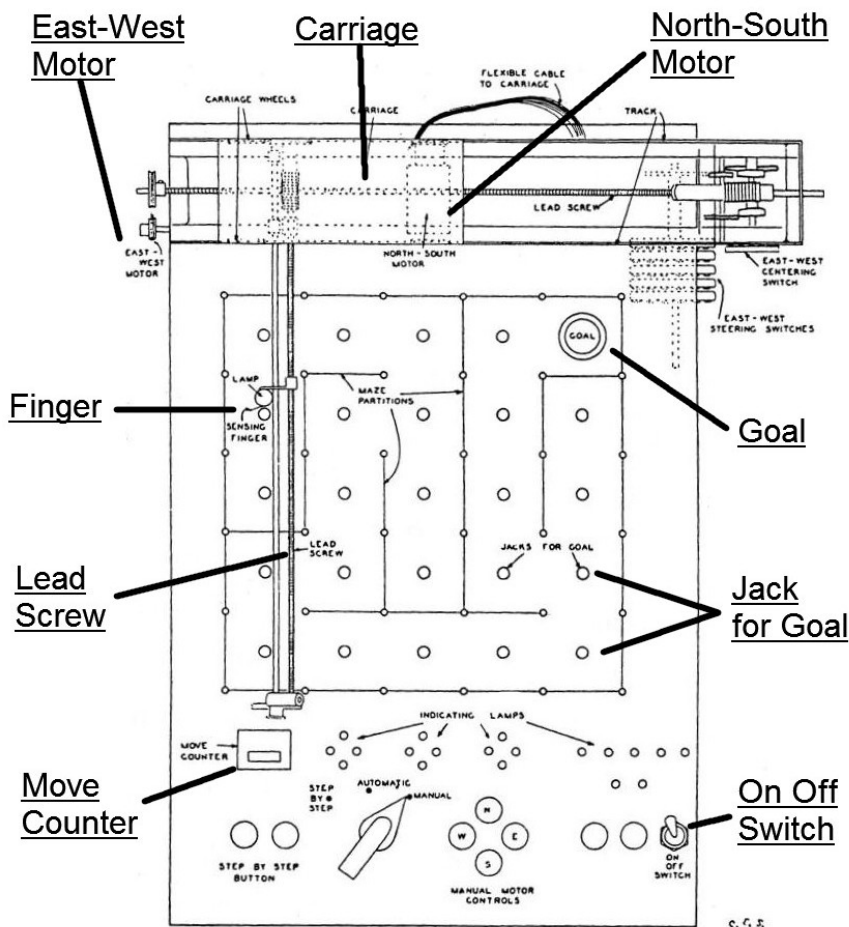


図2 フィンガー型の迷路探索機の迷路の構成 (Shannon[1952]1993, p. 682. を改変)

障壁はワイヤーでできていて、25 個のマスの中のどこにでも張ることができた。各マスにはかならず最低一辺が空くようにワイヤーを張ることになっていた。東西方向のモーターによって東西に動く台車 (carriage) から、送りねじ (lead screw) がワイヤーでできた迷路をまたぐように南北方向に伸びており、この台車と送りねじが動くことによってフィンガーが迷路の中を自由に動く仕組みになっていた。フィンガーが

障壁に接すると、フィンガーを通じて回路が閉じ、障壁を感知することができる。障壁を感知するとフィンガーはマスを中心に回り、迷路を解くために設定された動作規則に従って回転し、別の方向に向かって進む。各マスの中には差し込み口(jack)が付いており、「ゴール」は丸い導体をその差し込み口にピンでとめることで設定できる。フィンガーがその導体に接したら回路が閉じ、フィンガーの横に装備されたランプが点灯してベルが鳴り、ゴールに達したことがわかるという仕組みであった。フィンガーの動きは約 75 個の電磁リレーで制御されていた¹²。

このフィンガーの動き方には 2 種類のストラテジーがあらかじめ設定され、それぞれリレー回路で制御されていた。すなわち「探索ストラテジー」(Exploration strategy)「ゴールストラテジー」(Goal strategy)である¹³。「探索ストラテジー」とは、新しい迷路をトライアルアンドエラー方式で探索するためのものである。前述したように、フィンガーは障壁を感知するとマスを中心にもどって、別の方向へと回転する。25 個のマスには、それぞれリレーが二つずつ割り当てられ、メモリユニットを構成している。このメモリユニットは、フィンガーが最後にそのマスを通じた時に、そのマスから出ていった方向を記憶している。フィンガーがマスに到達すると、フィンガーはリレーに記憶された方向を読み取り、その方向から 90 度反時計回りの向きに進む。それがちょうど今入ってきたばかりの方向であれば、その方向をスキップし、さらにそこから 90 度回転させた方向に進むことになる。たとえば、前に東方向から出たマスに今度は南方向から入った場合、東方向から 90 度、すなわち北方向に進む。障壁にぶつかれば、マスを中心に回り、また 90 度回転する。この場合であれば、西方向に進む。そちらでも障壁にぶつかれば、さらに 90 度回転して南方向に向くが、これは入ってきた方向なのでスキップされて、東方向へ向かうこととなる。東方向にもし障壁があれば(前回とは障壁の配置を変えた場合など)、また北方向と西方向を試してから、南方向に出る。2 度目では入ってきた方向はスキップしない。この「入ってきた方向をスキップ」という特徴は開発途中で実装されたものである。実装前には、もと来た方向に戻り、また迷路全体を試行しなおしたりしたため、迷路を解くのに約 3 倍の時間がかかった¹⁴。解を出すするには、延べ 100 から 200 マス分のステップが必要であった。もっとも解くのが難しい迷路の難しい位置、かつ難しいメモリのセッティング状態からはじまったとしても、1000 回以下のステップで迷路を解くことができた。

¹² Shannon[1952]1993, p. 684.

¹³ Shannon[1952]1993, p. 681.

¹⁴ Shannon[1952]1993, p. 684.

ひとたびフィンガーがゴールに着くと、モーターは停止し、機械内のリレーが動作して、動作規則を「ゴールストラテジー」へと変化させる。「ゴールストラテジー」とは、いったん迷路を解いた後に、任意の地点からゴールに戻るためのものである。フィンガーがあるマスに入ると、割り当てられた2つのリレーから成るメモリから、前にフィンガーがどの方向から出たかを読み取る。どのマスのメモリにも、ゴールに最短で向かうことのできる方向が記憶されているため、行き止まりに突き当たってしまうような方向は自動的に省かれる。そのためフィンガーをどこに置いてもゴールにまっすぐ向かうことになる。「ゴールストラテジー」では、フィンガーは約12秒から15秒でゴールにたどりつくことができた¹⁵。

たとえば「ゴールストラテジー」に切り替わってから障壁を動かして迷路を変えたような場合には、再び障壁にぶつかることになるが、その場合は、フィンガーはその障壁から反時計回りに90度回転して進むことになる。この場合には「抑止回路」(discouragement circuit)が動作する。抑止回路はカウンタであり、フィンガーが通過したマスの数が23に達すると、次には動作規則を「探索ストラテジー」に戻すという機能をもっている。また、フィンガーが循環路をぐるぐる回るように迷路を変えた場合も、抑止回路が動作し、「探索ストラテジー」に切り替わる¹⁶。迷路は25マスで構成されているので、24ステップ時に切り替わるように設定されている。

前述したように、メモリユニットは各マスに二つずつ、合計50個のリレーで構成される。二つ組のリレーは二進法の0,1の組み合わせ合計4通りで、フィンガーの出た方向(東西南北)を記憶することができた。この他に、どの方向からフィンガーが入ったかを記録するリレー、フィンガーの動いている方向に常に一致するリレーなどで制御回路は構成されていた。

2.2 ネズミ型探索機への改造

ネズミ型の迷路探索機(図1)は、フィンガー型の迷路探索機に用いられた主要な回路はそのままに、障壁を感知する機構を中心に改造を行い、さらに視覚効果が上がるような工夫を加えたものと考えられる¹⁷。ネズミ型の迷路探索機では、フィンガー

¹⁵ Life 1952, p. 46.

¹⁶ Shannon[1952]1993, p. 685.

¹⁷ ネズミ型の迷路探索機の回路図そのものは、議会図書館のシャノン文書にもMITにも保存されていない。タイプスクリプト”Theseus—A Maze-Solving Machine”(Shannon n.d.)はフィンガー型の迷路探索機を解説したものだが、フィンガーのかわりに磁力で制御された「ネズミ」を使うというアイデアが明記されている。

型探索機とほぼ同じリレー機構の上部に、金属製の天板が取り付けられており、その上に、ワイヤーではなく薄いアルミニウム板の障壁で区切られた迷路が設置されていた。迷路の経路は、この板をスロットに差し替えることで簡単に変えることができた(図3)。

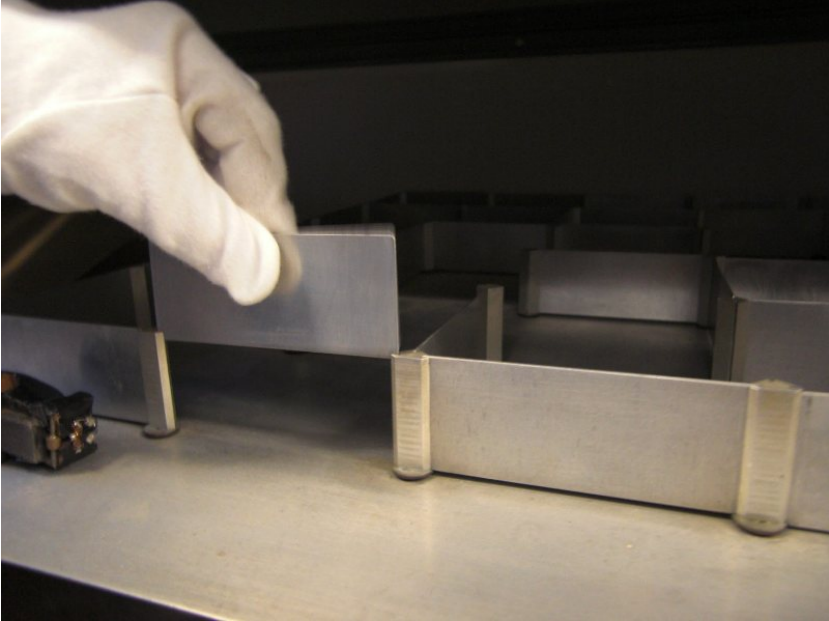


図3 ネズミ型迷路探索機 (from the MIT Museum, Theseus, by Claude Shannon, 1950; Mai Sugimoto, photographer)

フィンガーは迷路の天板の下を動き、障壁を感知する機構の代わりに四極電磁石が取り付けられていた。一方、天板上の迷路に置かれた木製のネズミには永久磁石が取り付けられ、ネズミは天板下のフィンガーの動きに従って迷路内を動く仕組みになっていた。また、ネズミの下部には小さい車輪が3個装備されており、簡単に前進したり回転したりすることが可能であった。ネズミのひげは銅線でできており¹⁸、障壁にネズミが当たると障壁からネズミのひげを通して床に向かって電流が流れ、ネズミが障壁に当たったということが感知できる。ネズミを一旦持ち上げてから迷路の中に置

¹⁸ Life 1952, pp. 45–46.

いても、床の下にある「リードスイッチ」(reed switch) がネズミの磁石に反応するため、その位置を感知することができた¹⁹。ゴールはフィンガー型の探索機と同じく、導体を差し込み口にピンで留めることで設定できた²⁰。いずれの機械も、多数のリレー²¹や部品を組み合わせて製作されたため、製作費はたいへん高価だったとシャノンは回想している²²。この迷路探索機の持つ「迷路上を自動でネズミが走る」という極めて高い視覚効果が、この機械をシャノンを代表するアイコンという地位へと押し上げたと言える。

所内からの特許出願が奨励されていたベル研究所内の発明の常として、シャノンはこの迷路探索機について「考えられる特許出願」をタイプスクリプトの中でリストアップしている²³。

- トライアルアンドエラーで問題を解き、その解を覚える
- 迷路を解き、その経路を戻ることのできる機械
- メモリ回路の構造

このタイプスクリプトではメモリ回路の重要性が強調されているが²⁴、後にシャノンは「トライアルアンドエラーで問題を解く」という点の方を重点的に記述するようになり²⁵、前述したとおり 1950 年代以降の「ゲームをする機械」に関する複数の論文で、この迷路探索機を取り上げている。

§3 迷路探索機に与えられた評価

この迷路探索機は、ベル研究所内ではどのような評価を受けていたのだろうか。現代的には計算機や人工知能研究と結びつけた解釈が行われる迷路探索機だが、1950 年代には、これとはまったく異なる評価が与えられていた。製作当時の迷路探索機は、公式には電話交換の技術を改善するための実験とみなされていた。しかしベル研究所

¹⁹ Shannon 1982.

²⁰ MIT 博物館に所蔵してあるものでは、ゴールはベル研究所のメダルでできている。また、ネズミ型の探索機には展示・デモンストレーション用に木製の化粧パネルがあつたえられたが、現在そのパネルは保存されていない。

²¹ ネズミ型では最終的に 100 個近いリレーが使われたとのことである。195 bulletin 1953, p. 18.

²² Shannon 1982.

²³ Shannon n.d., p. 11.

²⁴ Shannon n.d., p. 11.

²⁵ Shannon 1952 など。

内の一部では、スイッチング部門や数学部門においてスイッチング理論の意義が変化しつつあったのに伴い、非公式ながらスイッチ回路と論理を結びつけた実験の一例とも解釈された。この状況は1970年代になると変化し、迷路探索機は公式に計算機と関連づけらるようになり、現代的な解釈へと繋がってゆく。本節では、1950年代における二つの見方、そして1970年代に至ってそれがどのように変化したかを、順に検討しよう。

3.1 迷路探索機と電話交換 1950年代における解釈・1

迷路探索機が作られた当時に支配的だった第一の見方は、迷路探索機を単に電話交換の技術改善のための実験とみなすものである。自動的に最短経路を探索し、それを回路に記憶させるという迷路探索機の特徴は、効率的な電話交換システムを開発するというベル研究所の目的になかったものであった。特に、電話交換システムで用いられるメモリの開発は大きな課題のひとつだった。現にシャノン自身も、電話交換システムにおけるメモリについて1949年に“Memory Requirements in a Telephone Exchange”という論文(未公開)を書き、スイッチ回路での記憶保持について理論的に分析している²⁶。

この見方からの迷路探索機器の解釈については、たとえばAT&Tの所内雑誌である*195 Bulletin*に掲載された、“Mighty (Memory) Mouse”という1ページの記事に見ることができる²⁷。この記事の大部分はこの迷路探索機がどのように動作するのかという説明に割かれているが、表題の“Mighty (Memory)”(膨大な記憶を持つ)から見ててもわかるように、解説の焦点は、この装置の持っている「メモリ」にあてられている。

このネズミの「脳」には、ダイヤル電話システムに使われているのと同じスイッチングリレーが用いられている。その理由は、実は、電話サービスの改善をうながす基本的な知識を与えるためである。… 機械に「記憶」させることのできる技術の多くは、ベルシステムでダイヤルスイッチングや自動会計、そのほかの装置のために用いられてきた。

この記事から読み取れるのは、シャノンの迷路探索機が、あくまでダイヤルスイッチングやメモリなどといった電話技術に直接関係しているという解釈である。ネズミ

²⁶ Shannon 1949b.

²⁷ 195 Bulletin 1952, p. 18.

型の迷路探索機は 1952 年に *Time* に取り上げられたが, “Mouse with a Memory” という表題のこの記事も, *195 Bulletin* の解釈を踏襲していると言えよう²⁸. また前述したように, シャノン自身もフィンガー型の迷路探索機開発当時のタイプスクリプトでは, メモリ回路を重要視していた.

研究所外部の人間がベル研究所に取材し, *Computers and Automation* 誌に掲載された 1953 年の記事, “Gypsy, Model VI, Claude Shannon, Nimwit and the Mouse” では, 迷路探索機のみにとどまらない, シャノンの電気工作全般に対する解釈が読み取れる²⁹. *Computers and Automation* は Association for Computing Machinery(ACM) の創設者のひとりであるエドモンド・バークリー (Edmund Berkeley) によって創刊された雑誌で, 計算機に関する記事のほか, 計算機や計算機に関わっている大学や企業のリストなどが掲載された, 最初期のコンピュータ雑誌のひとつである. 記事の著者であるジョージ・ベーム (George Boehm) は *Newsweeks* 紙のサイエンスエディターで, *Computers and Automation* のエディターの一人でもあった. 当時ベル研究所では, ジョージ・スティビッツ (George Stibitz) によって 1930 年代末から開発されたデジタル電気計算機の後継である Model シリーズが, 改良を重ねながら製作されていた. 1950 年から使用されていた Model VI は, 政府に納入するために作られた Model II から Model V までの機種と異なり, ベル研究所内で取り組まれるさまざまな問題に用いることのできるリレー式汎用デジタル計算機であり, 約 4600 個のリレーを用い, 10 桁の数を扱うことのできるものであった³⁰. ベームはその Model VI とその役割, そして当時 37 歳であったシャノンと迷路探索機を含む様々な電気工作について, この論文で取り上げた.

シャノンは, 迷路探索機以外にも電気工作を多数行っており, 中でも Nim や Hex といったボードゲームを自動で人間と対戦する機械がその代表であった. こういった「ゲームマシン」にベームはひとつひとつ詳細な解説を加え, そしてその目的について以下のように述べる³¹.

電話オフィスのスイッチングシステムは, ある意味精巧なゲームマシンである. 電気リレーは可能な限り速く, 効率的に電話ユーザーをつないだり切った

²⁸ Time 1952.

²⁹ Boehm 1953, pp. 1-4.

³⁰ Irvine 2001, p. 26

³¹ Boehm 1953, pp. 1-2.

りしなければならない。そしてスイッチングシステムの速さと正確さは、それがほんの少しでも、改善されればそれは低いコストでのより良いサービスに反映されるのである。シャノンの機械は、そのほとんどが原理的に電話スイッチングシステムのそれと同一であるようなリレー機構に依っており、電話に関する新しいアイディアの実験場である。

ここでは、計算機と共に取り上げられているにも関わらず、シャノンのゲームマシンはあくまで電話交換技術に結び付けられている。このペームの解釈は、当時のベル研究所がシャノンの電気工作に公式に与えていたものを直接反映したものと考えてよい。このような「電話に関する新しい技術のための実験」という解釈が、とくに1950年代当時におけるベル研究所内の、迷路探索機に対する基本的な評価であり、研究所の外部向けには主としてこの解釈が発表されていた。

こういった解釈が行われた背景には、シャノンがベル研究所で活躍した1940年代後半から1950年代が、電話の通信量の大幅に増大した期間であったことが挙げられよう。第二次世界大戦前後から、電話契約数、とくに家庭内電話は大增し、1955年の時点でベルシステムの電話は4500万台を超え、これは1920年時点と比べて5倍以上の数であった³²。この電話の急速な増加に伴い、旧型のパネルシステムから、戦時中に開発された技術を使用したクロスパーシステムへの転換に代表されるように、AT&Tでは電話交換の高速化と効率化がはかられた³³。ベル研究所は1940年代末に発明されたトランジスタや1948年にシャノンが発表した情報理論をはじめとした成果にも見られるように、比較的自由に基礎研究を認めていたが、それは電話をはじめとした何らかの通信・音響技術に貢献することを前提としていた。電話交換機に使われる部品で全てが構成されているシャノンの迷路探索機も、その例外ではなかったのである。

3.2 迷路探索機と論理 1950年代における解釈・2

一方、当時のベル研究所内部には、これと異なる視点からの評価もあった。それは、よく定義された論理規則によって制御されたスイッチ回路という解釈で、1951年にベル研究所内に設置されたデジタル計算機特別委員会の設立趣意書などに見ることができる³⁴。デジタル計算機特別委員会とは、ベル研究所への新型デジタル計算機の導入

³² 195 Bulletin 1955, p. 7.

³³ Hersey 1960, pp. 3–8.

³⁴ Bode 1951b.

とその利用のために設置された所内委員会である。当時、ベル研究所ではカードプログラム式のデジタル高速計算機、IBM650 の導入が検討されていた。ベル研究所には汎用アナログ計算機とリレー計算機があり、ネットワーク設計部門で用いられていたが、既にかなり繁忙であったためである³⁵。国勢調査や会計処理のために計算機を納入する政府や企業と異なり、ベル研究所での IBM650 の使用はその目的が多岐かつ大規模になることが予想され、解くべき問題をいかに迅速かつ正確にコーディングするか、つまりプログラミングと制御をどのように効率よく行うかについての研究が求められていた³⁶。デジタル計算機特別委員会はこの背景のもとに設置されたもので、当時数学部門のディレクターであったヘンドリック・ボード (Hendrik Bode) が委員会の責任者の一人に就任した³⁷。

設立趣意書では、IBM650 の具体的な使用法というよりも、デジタル計算機一般の使用法とその可能性が主題として取り上げられた。ボードは、計算機とスイッチ回路の関係について詳細に説明しているが、その中にシャノンの迷路探索機についての言及が見られる。

普通、人は計算機を純粋な算術 (arithmetic) に関係しているものと考えている。計算機は本来大量に算術を行う装置である ... (中略) ... しかしながら、経験から、計算機を純粹に算術という方面から見るのは適当でないことがわかった。くわえて論理的な観念を導入し、計算機をある意味での「考える機械」の萌芽と考える必要がある。これにはいくつかの理由がある。... (中略) ... d. スイッチ回路、そしてそれに関連した装置は、よく定義された論理規則によって支配されているように思われ、それが偶然に重要な算術的属性を持ったにすぎない。

* 計算機とスイッチング技術に相互に関係する我々の関心からみれば、このことは、算術的側面に相対するものとしての、計算機の論理的側面を強調する特別な理由を与える。

* この言明の良い例は、事前には明らかでなかったとはいえ、シャノンが最近作った迷路探索機によって与えられる。これは、動く素子が各マスから出てゆく方法を支配している少数の規則によって完全に決定されている。

ここでボードが計算機について強調しているのは、第一に、デジタル高速計算機の

³⁵ Bode 1951a, p. 1.

³⁶ Bode 1951b, p. 1.

³⁷ Bode 1951b, pp. 7-8

「算術的 (arithmetical)」な利用は「論理的 (logical)」な利用とは異なるという見方、第二に電話に用いられてきたスイッチング技術と計算機は互いに密接に関連しており、その双方が論理的側面からの研究を必要としているということである。それを踏まえた上で、完全にリレーとスイッチで構成され数少ない規則によって制御されている迷路探索機を、論理的規則で支配されるスイッチ回路である、と解釈しているのである。

ボードがこのような記述をすることには、二つの理由が考えられる。第一に、この1940年代から50年代という時期の一種の計算機熱の盛り上がりを受けて、スイッチングの位置づけが変わったということをベル研究所の技術者自身が自覚し始めたということである。スイッチング部門のディレクターであったメザー (Meszar) による“Switching—Its Rise from Practical Utility to Philosophical Heights”³⁸というテクニカルメモランダムによれば、スイッチングはまるで「シンデレラ」であり、自動計算システムが出現したことにより、突如技術界で「社会的地位を得た」のである。同じメモランダムでメザーは1940年代半ばから流行していたスイッチングシステムと人間の神経系との類比を引き合いに出しながら、以下のように断言する(強調はメザーによる)³⁹。

スイッチングは、情報処理技術である。スイッチングシステムは情報を受け取り、分析し、記憶し、論理的決断を行うなどし、最終的に適切な行動を取る。スイッチングに対するこの見方は明らかに広範だけれども、想像力に富みすぎているというわけではない。

第二に、「考える機械」(Thinking Machine)「機械の脳」(Mechanical Brain)という着想が当時計算機械発に携わっていた研究者に広がり始めていた可能性も指摘したい。そのことを示す代表例が、ACMの設立者のひとりであるパークリーが1940年代半ばから多数出版した、計算機の論理面を強調し、計算機を「考える機械」「機械の脳」ととらえる論文・書籍である。主著である *Giant Brains*⁴⁰を出すにあたって、パークリーは各地の研究所や大学の研究者に大量の直接取材を行い、計算機と論理の関係に焦点をあてながら、ENIAC, Harvard Mark Iをはじめとしたアメリカ全土の高速計算機について紹介した。この *Giant Brains* は、1949年からの10年間で1万5千部以

³⁸ Meszar 1951.

³⁹ Meszar 1951, p. 3.

⁴⁰ Berkeley 1949.

上を売り上げるベストセラーとなり⁴¹，またこの本はシャノンが1937年に出版したスイッチ回路のブール代数を用いた解析に関する論文“A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits”⁴²を大きく取り上げた最初の書籍のひとつでもあった。「考える機械」という見方，およびスイッチ回路と論理の関係性は、「機械と知能」に対する興味とともに，取り上げられるべき主題として各地の研究者に意識されるようになってつつあったのではないかと考えられる。

ENIACをはじめとしたアメリカ各地での計算機の開発，マカロックとピッツによる1943年の論文に端を発する脳神経と論理素子の類比⁴³，パークリーに代表される「考える機械」「機械の脳」という思想などを背景に，計算機に用いられていたスイッチ回路と論理との関係性がそれまで以上に強調され，単に「つなぐ」「切る」だけだったスイッチング技術が，それ以上の意味のあるものとしてにわかに脚光を浴び始めたことは，ベル研究所のスイッチング部門や数学部門の研究者にも影響を与えていた。メザーのメモランダムのみならず，ボードによる特別委員会の設立趣意書もこの流れを汲んだものであり，電話交換の研究のためのもののはずである迷路探索機に論理的な側面を敢えて見出したボードの見方は，こういった事情を反映していると言えよう。

3.3 迷路探索機とデジタル計算機 1970年代における解釈

後年になって，ベル研究所の研究者が行った迷路探索機に対する評価は，1950年代には内部向けであった第二の解釈を反映しており，もはや電話交換技術の改善という当初の目的を見いだすことはできない。1975年にベル研究所が発行した，研究所の歴史を紹介する本である *Mission Communications*⁴⁴では，シャノンの迷路探索機は以下のように評価されている⁴⁵。

1952年に，シャノンは電話リレーの性能を説明する実験装置を開発した ...
ネズミを伴った実験装置は，ベル研究所の研究者たちを刺激し，数値計算以外の演算に計算機の論理的な力 (logical power) を用いるという新しい方向性について考えさせた。

⁴¹ Berkeley 1958.

⁴² Shannon 1937.

⁴³ McCulloch and Pitts, [1943]1965.

⁴⁴ Mabon, 1975.

⁴⁵ Mabon 1975, p. 50.

ここでは明らかに迷路探索機が計算機と関連付けられて解釈されているが、シャノンの迷路探索機が1951年時点では一度も計算機と呼ばれていなかったことに注意したい。シャノン自身は「計算機の数値計算以外への利用」について論文“Computers and Automata”で論じているが、自分の作った機械を“Maze Solving Machine”もしくは“Game Machine”と呼び、計算機と呼ぶことは無かった。また、ボードによる設立趣意書でも、「後から明らかになった」と注記されていることからわかるように、迷路探索機にそもそも計算機との関連を積極的に見出していたようには思われない。すなわち、迷路探索機と計算機を結びつける見方は1950年代当時には無い、後の時代になってから迷路探索機を遡って見た際の評価なのである。

そもそも、1950年代および1960年代のベル研究所では、研究者は公式には計算機の開発に携わっていると言える立場になかった。その原因は、米国全土の電信電話を一手に担っていたAT&Tとその製造部門であったWestern Electric社を相手取って、司法省が1949年に起こしたアンチトラスト訴訟であった。この訴訟の1956年の同意判決で、ベル研究所とWestern Electric社を含むAT&Tグループでは電信電話に関連する事業以外、すなわち計算機に関する事業は社外向けには行えなくなったのである。もともと電信電話を初めとした通信技術に事業の重点を置いていたことに加え、計算機に関する法的制限が重なった1950年代から1960年代当時には、迷路探索機と計算機を直接結びつける解釈が出てこなかったのも当然といえる。しかし一方で、電話交換のために1960年代に開発されたNo.1 ESS (Electronic Switching System)をはじめとした電子式機械は、ある意味計算機と類似した構造を持っており⁴⁶、外部への商用ではなかったが、特殊な目的のために開発された一種の計算機と呼べるような特徴を持っていた。またベル研究所は、同じ1960年代中頃にはMITおよびGeneral Electric社との共同プロジェクトという形で、タイムシェアリングオペレーティングシステムMulticsの開発にも関与している。すなわち、ベル研究所内では1950年代以降、所内使用のためのESS研究などに伴って電話交換技術と計算機構築技術との合流が進み、また1960年代から1970年代にかけてはIBM社をはじめとしたメインフレームメーカーが台頭する中⁴⁷、オペレーティングシステム開発などへの参入も始まりつつあったのである。電話のためのスイッチング実験であった迷路探索機が計算機の文脈で1970年代になって解釈しなおされ、それが公表されるようになったのは、こういった

⁴⁶ Seckler and Yostpille, 1962.

⁴⁷ IBM社をめぐっては、1969年に司法省がアンチトラスト訴訟を起こしている。

状況を反映してのものだと考えられよう。

§4 結語

ベル研究所内におけるシャノンの迷路探索機に対する解釈には、製作当時の 1950 年代と、1970 年代とでは、その視点に大きな違いが見られる。シャノンが作った 2 台の迷路探索機は、電話交換用のリレーやスイッチをふんだんに用いた比較的高価な工作であり、とりわけネズミが迷路を走るタイプの探索機はその知名度と機能からさまざまな解釈の対象となった。これまで見てきたように、製作当時の 1950 年代には、この迷路探索機は電話交換技術改善と応用のための実験という位置づけであり、ベル研究所の所内誌や *Life*, *Time* といった有名雑誌にもその見方からの解説が掲載された。研究所内部の計算機特別委員会ではスイッチ回路と論理を繋ぎうるものとして取り上げられることもあったが、それはあくまで研究所の内部向けの資料においてのみであった。ところが 1970 年代になって、計算機の数値計算以外への利用に関連付けた解釈が公式に見られるようになる。その理由は、シャノン自身が人工知能に関する論文を発表していたことに加え、ベル研究所内における計算機の扱いが 1950 年代から 1970 年代にかけて大きく変わったためである。シャノンの迷路探索機は電気機械的に単純な素材で構成されているにもかかわらず、それに比して複雑な機能と動作を行うことができた。このことも、各時代のベル研究所の状況や、スイッチ理論に対する見方を反映した解釈が行われた背景だと考えられる。

この迷路探索機に対する各時代の評価は、ベル研究所の置かれた立場の変化だけではなく、スイッチ回路や計算機と論理を関係づけることを糸口とした、黎明期の人工知能研究の一端をも示していると言えよう。1950 年代以降のベル研究所において、「計算機」とそれに類する電気機械が非常に多様な目的のために用いられていたことはよく知られているが、シャノンやボードを含む多数の研究者が、その研究開発にどのように取り組んでいたのかについては、さらなる研究が必要である⁴⁸。

⁴⁸ 本研究を行うにあたり、MIT 博物館の Deborah G. Douglas 氏、Ariel Weinberg 氏、および AT&T History Center の George Kupczak 氏、ミネソタ大学 Charles Babbage Institute の Thomas J. Misa 教授、R. Arvid Nelsen 氏、Stephanie H. Crowe 氏から多大なご助力を頂いた。また、二名の査読者からは的確な指摘を頂いた。深く感謝の意を表したい。

参考文献

- “Science: Mouse with a Memory”. 1952. *Time*, May 19.
- “A Better Mouse: A robot rodent masters mazes”. 1952, *Life*, 28 July: 45–46.
- “Mighty (Memory) Mouse”. 1953. *195 Bulletin*, June: 18.
- “Automation—and the Bell System”. 1955. *195 Bulletin*, November: 7.
- Berkeley, Edmund. 1949. *Giant Brains: or machines that think*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- . 1958. Copy of Letter from Hoffman to Berkeley, November 17. Box 8, Folder 40, Edmund C. Berkeley Papers (CBI 50), Charles Babbage Institute, University of Minnesota, Minneapolis.
- Bode, Hendrik. 1951a. Memorandum, 8 February. Filecase 22878, Vol.L, AT&T History Center, Warren, New Jersey.
- . 1951b. Charter for Digital Computer Ad Hoc Committee, 4 March. Filecase 22878, Vol.L, AT&T History Center, Warren, New Jersey.
- Boehm, George A. W. 1953. “Gypsy, Model VI, Claude Shannon, Nimwit and the Mouse”. *Computers and Automation* 2(2): 1–4.
- Hersey. 1960. “Machine Memory in Telephone Switching”. *Bell Laboratories Record*, January: 3–8.
- Irvine, M.M. “Early Digital Computers at Bell Telephone Laboratories”. *IEEE Annals of the History of Computing*, July–September: 22–42.
- Mabon, Prescott C. 1975. *Mission Communications: the story of Bell Laboratories*. New Jersey: Bell Telephone Laboratories.
- McCulloch, W.S. and W. Pitts. [1943]1965. “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, pp. 115–133; McCulloch, *Embodiments of Mind*. Cambridge, Massachusetts: 19–39.
- Meszar, J. 1951. Technical Memorandum, “Switching—Its Rise from Practical Utility to Philosophical Heights, March 9”. Filecase 22108, Vol.KK, AT&T History Center, Warren, New Jersey.
- Pierce, John R. 1979. “Interview with John Robinson Pierce, Pasadena, California, November 1979”, by Harriett Lyle. California Institute of Technology Oral History

- Project. (http://oralhistories.library.caltech.edu/98/01/OH.Pierce_J.pdf)
- Seckler, H.N. and J.J. Yostpille. 1962. "Electronic Switching Control Techniques". *Bell Laboratories Record*. April: 139-143.
- Shannon, Claude E. [1937]1993. "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits". *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, ed. N.J.A. Sloane and A.D. Wyner, pp. 471-495. New York: IEEE Press.
- . 1949a. Letter from Shannon to Rippenbein, April 11. Box 1, Folder 1, Papers of Claude Elwood Shannon (MSS 84831), Library of Congress.
- . 1949b. "Memory Requirements in a Telephone Exchange, September 15". Box 9, Folder 3, Papers of Claude Elwood Shannon (MSS 84831), Library of Congress.
- . 1952. Letter from Shannon to Angus, August 8. Box 1, Folder 10, Papers of Claude Elwood Shannon (MSS 84831), Library of Congress.
- . [1952]1993. "Presentation of a Maze-Solving Machine". *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, ed. N.J.A. Sloane and A.D. Wyner, pp. 681-687. New York: IEEE Press.
- . 1953. "Computers and Automata". *Proceedings of IRE* 41(10): 1234-1241.
- . [1955]1993. "Game Playing Machines". *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, ed. N.J.A. Sloane and A.D. Wyner, pp. 780-782. New York: IEEE Press.
- . 1956. Biographical Record: Claude Elwood Shannon, April 1956. MIT Museum, Boston, Massachusetts.
- . 1982. Letter from Shannon to Wichman, May 23. Box 4, Folder 3, Papers of Claude Elwood Shannon (MSS 84831), Library of Congress.
- . 1993. *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, ed. N.J.A. Sloane and A.D. Wyner. New York: IEEE Press.
- . n.d. "Theseus—A Maze-Solving Machine". Box 13, Folder 12, Papers of Claude Elwood Shannon (MSS 84831), Library of Congress.

